

# 실리카흙 사용 고강도콘크리트의 기초적 성질에 대한 연구

A Study on the Fundamental Properties of High Strength Concrete  
Using Silica Fume

문한영\* 김기형\*\* 문대중\*\*\*  
Moon Han-young Kim Ki-hyung Moon Dae-joong

## ABSTRACT

In this study, the fundamental properties of High-Strength Concrete(HSC), such as the slump loss, the temperature increment, the strength development, are considered by experiments.

In reducing the temperature and the slump loss, and developing the strength of HSC, the application of silica fume as an admixture is very effective. And when gypsum is added, the slump loss is reduced and the strength of HSC is improved remarkably, but the temperature of concrete is increased, thus a more study to reduce the temperature increment is required.

## 1. 서론

콘크리트 구조물이 고층화, 대형화 및 경량화와 같은 고기능화가 요구되므로 이러한 요구에 부응하기 위하여 콘크리트의 강도를 크게 향상시키기 위한 연구가 국내외에서 활발하게 진행되고 있으며, 특히 실리카흙을 혼합한 고강도콘크리트의 제성질 및 실용화와 관련된 연구논문 및 실적들이 많이 발표되고 있다. (1-5)

본 논문에서는 비정질 실리카 성분이 90% 이상인 실리카흙을 사용하여 제조한 고강도 콘크리트의 경과시간에 따른 온도상승을 억제하며, 굳지않은 콘크리트의 유동성 손실을 저감시키며 경화한 콘크리트의 강도를 대폭 향상시키기 위한 목적으로 물-결합재비, 실

리카흙 혼합률, 단위시멘트량 및 석고량을 변화시킨 고강도콘크리트의 기초물성 측정결과에 대하여 고찰하였다.

## 2. 실험개요

### 2-1. 사용재료

#### (1) 시멘트 및 혼화재

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(OPC)를 사용하였으며, 혼화재는 실리카흙(SF), 고로 슬래그 분말(GS) 및 플라이애쉬(FA)로써 화학 성분 및 물리적 성질은 표.1과 같다.

(2) 석고 : 공업용석고를 사용하였으며 화학 성분은 표.2과 같다.

(3) 고성능감수제 : 나프탈린 술폰산 포르말린 고축합물이 주성분이며 비중 1.19~

\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정

\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정

1.20, pH 9±1인 고성능감수제를 사용하였다.

(4) 골재 : 잔골재는 한강산 강모래이며, 굵은 골재는 부순자갈을 사용하였으며 물리적 성질은 표.3과 같다.

## 2-2. 실험방법

(1) 슬럼프 손실 시험 : 굳지않은 고강도용 콘크리트의 믹싱후 경과시간에 따른 슬럼프 손실을 알아보기 위하여 강제식 믹서로 제조한 콘크리트를 가경식 믹서에 옮겨 2rpm의 속도로 교반하면서 30분 간격으로 120분 동안 KS F 2402에 의해서 슬럼프 시험을 실시하였다.

(2) 콘크리트의 온도 변화 시험 : 믹싱후 경과시간에 따른 온도변화를 알아보기 위하여 단열 효과가 있는 25x25x25cm의 스티로폴 용기속에 콘크리트를 채우고 콘크리트 중심

부위와 대각선 방향을 3등분한 위치의 2지점에 온도센서를 묻고 2시간 간격으로 72시간 동안 콘크리트의 온도를 측정하였다.

(3) 강도 시험 : ø 10x20cm 원주형 공시체를 제조한 후 표준양생하여 KS F 2405에 의하여 압축강도를 측정하였으며, 인장강도 및 탄성계수는 재령 28일에 KS F 2423 및 KS F 2438에 의하여 측정하였다.

(4) X선 회절 분석 시험 : 고강도용 시멘트 경화체의 조성상을 분석하기 위하여 재령 28일에 시료를 채취하여 X선 회절분석을 실시하였다. 측정 조건은 Target:Cu, 35kv, 20mA, Scan speed:10°/min., 2θ:5°~60°로 하였다.

## 2-3 콘크리트의 배합

고강도콘크리트를 제조하기 위하여 표.4와 같은 조건으로 콘크리트를 배합하였다.

표.1 시멘트 및 혼화재의 화학성분 및 물리적 성질

Items Types	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO <sub>3</sub> (%)	Ig. loss (%)	Specific gravity	Specific surface (cm <sup>2</sup> /g)
OPC	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112
SF	90.00	1.50	3.00	2.00	0.30	-	3.00	2.33	204,700
FA	68.00	25.00	2.85	2.00	0.90	-	3.47	2.15	4,546
GS	31.12	14.24	0.51	41.40	6.14	4.36	0.63	2.80	4,880

표.2 석고의 화학성분(%)

C	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	SO <sub>3</sub>
6.0	0.11	0.001	0.0001	0.0001	38.5	55.1

표.3 골재의 물리적 성질

Items Types	Gmax (mm)	Specific gravity	Absorp tion(%)	F.M.	Organic impurities	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )	Percentage of solids(%)
Fine agg.	-	2.60	1.83	2.66	0.K	1,584	61.0
Coarse agg.	19	2.62	1.21	6.83	-	1,586	62.5

### 3. 실험결과에 대한 고찰

#### 3-1. 굳지않은 고강도용 콘크리트의 슬럼프 손실 특성

굳지않은 고강도용 콘크리트에서 실리카흙이 유동성 손실에 미치는 영향을 알아보기 위하여 단위시멘트량 600kg, 물-결합재비 32%, 실리카흙을 단위시멘트량에 0, 10, 20% 혼합한 콘크리트를 제조하여 경과시간에 따라 슬럼프를 측정하여 믹싱직후의 슬럼프값에 대한 슬럼프 손실률로 정리한 것이 그림.1이다.

이 그림에서 포틀랜드시멘트로 제조한 고강도용 콘크리트의 경우 경과시간 30분 정에서 72%, 120분에서 85% 정도의 큰 슬럼프 손실률을 나타내었으나, 실리카흙 혼합률이 증가함에 따라 슬럼프 손실률이 상당량 감소됨을 알수 있다. 유동성 손실이 저감된 원인으로서는 미세한 실리카흙 입자가 시멘트 입자 사이의 간격을 충전함으로써 시멘트 입자간의 마찰저항을 감소시키는 윤활작용을 하는 효과 때문으로 생각된다.

이번에는 석고를 단위시멘트량에 2% 첨가하여 제조한 고강도콘크리트의 슬럼프 손실률을 측정하여 정리한 것이 그림.2이다.

석고를 첨가함에 따라 슬럼프 손실률이 상당량 저감되었으며 실리카흙 20% 혼합 콘크리트의 경우 석고를 첨가하지 않은 콘크리트보다 경과시간 30, 120분에서 약 42%, 23% 정도의 슬럼프 손실률 저감효과가 있음을 알수 있다. 이러한 효과는 실리카흙 혼합에 따른 시멘트 조성광물중 초기수화 반응성이

현저한 C<sub>3</sub>A의 감소와 더불어 석고가 알루미늄네이트계 화합물의 수화를 현저히 억제하는 작용이 유동성 손실을 저감시켰다고 생각된다.

여기서는 실리카흙 혼합 콘크리트의 유동성 손실 저감 효과를 한층 더 높이기 위하여 플라이애쉬 및 슬래그 분말을 혼합한 콘크리트의 경과시간별 슬럼프 손실률을 석고 무첨가 보통콘크리트의 슬럼프 손실률 100에 대한 비율로서 정리한 것이 그림.3이다.

이 그림에서 알 수 있듯이 혼화재의 종류에 관계없이 혼합률이 증가하는데 따라 슬럼프 손실률이 현저히 저감되었으며, 대체로 경과시간 30분에서 저감현상이 뚜렷하게 나타났으며, 실리카흙 20% 혼합콘크리트의 경우 보통콘크리트 보다 약 55%정도의 슬럼프 손실 저감효과를 나타내었다.

#### 3-2. 고강도콘크리트의 경과시간별 온도변화 특성

단위시멘트량이 크고 물-결합재비가 매우 작은 고강도콘크리트를 제조하여 기온이 높은 서중콘크리트로 시공할 경우, 콘크리트의 온도가 콘크리트 구조물에 미치는 영향이 매우 크기 때문에<sup>(6)</sup> 콘크리트의 온도를 낮추기 위한 조치가 요망된다.

그림.4는 보통포틀랜드시멘트로 제조한 고강도콘크리트의 경과시간에 따른 온도변화를 알아보기 위하여 단위시멘트량 800kg, 물-결합재비 25%의 콘크리트를 경과시간 72시간 동안 온도변화를 측정하여 정리한 것으로서 믹싱후 경과시간 약 16시간에서 최대온도가 62.7°C 정도로 크게 나타났으며, 시험체 중

표.4 콘크리트 배합표

G <sub>max</sub> (mm)	W/C (%)	Slump (cm)	S/a (%)	HRWR dosage (Cx%)	Cement Content (kg)	비고
19	32	18±1.5	42	0.6~0.82	600	슬럼프 손실 시험
19	23, 25	18±1.5	42	1.3~2.5	700 750 800	온도 변화 강도 시험

심부의 온도가 가장자리 부위보다 얼마간 크게 나타났다.

그래서 고강도콘크리트 온도를 저감시키기 위한 수단으로 실리카흙을 단위시멘트량에 0, 10, 20% 혼합하여 제조한 고강도콘크리트의 온도변화를 측정하여 정리한 것이 그림.5이다.

실리카흙을 10, 20% 혼합하므로써 콘크리트의 중심부의 최대온도가 각각 8°C, 10°C 정도 저감되었다. 콘크리트의 온도가 저감된 원인은 실리카흙 혼합률이 증가함에 따라 시멘트량이 상대적으로 감소하여 시멘트 초기 수화발열량이 감소되었기 때문으로 생각된다.

한편 그림.5와 동일한 배합에 석고를 단위시멘트량에 3% 첨가하여 제조한 고강도콘크리트의 온도변화를 나타낸 것이 그림.6이다.

석고첨가에 따라서 콘크리트의 최대온도가 약 9°C정도 크게 나타나므로 석고첨가가 강도를 향상시키는데 상당히 효과가 있음을 알 수 있었으나, 콘크리트의 온도가 큰 문제점이 있음을 알 수 있었다.

### 3-3. 고강도콘크리트의 강도 특성

물-결합재비 및 실리카흙의 혼합률의 변화에 따른 고강도콘크리트의 압축강도의 향상 정도를 알아보기 위하여 재령 3, 7, 28 및 91일로 정리한 것이 그림.7이다.

이 그림에서 물-결합재비 23%로 제조한 콘크리트가 각 재령별 압축강도가 크게 나타났으며, 재령이 증가할수록 실리카흙 혼합률이 커질수록 압축강도가 크게 나타났다. 이는 실리카흙의 micro filler 효과와 포졸란 활성반응이 활발히 진행되어 강도가 증가되었다고 생각된다.

실리카흙 혼합 고강도콘크리트의 강도를 개선시키기 위하여 석고를 단위시멘트량에 3% 첨가한 콘크리트의 압축강도 측정결과를 재령별로 정리한 것이 그림.8이다.

석고첨가에 따라 압축강도가 얼마간 향상되었으며, 특히 실리카흙 20% 혼합 콘크리트

에서는 재령 28일 압축강도가 1,058kg/cm<sup>2</sup> 정도로써 석고 무첨가 고강도콘크리트보다 약 3% 정도 증가되었음을 알 수 있다. 이는 석고가 실리케이트계 화합물의 초기수화를 촉진하여 강도향상에 기여하였기 때문이라고 생각된다.

그래서 석고 및 실리카흙을 혼합한 고강도콘크리트의 압축강도가 크게 향상된 원인을 알아보기 위하여 실리카흙 0, 10, 20% 혼합하고 석고를 3% 첨가하여 제조한 시멘트플경화체의 조성상을 재령 28일에 X선 회절 분석한 것이 그림.9이다.

이 그림에서 대체로 30° 주위에 실리케이트계 미수화물이 발견됨을 알 수 있으나 실리카흙 혼합률이 증가함에 따라 미수화물의 피크가 감소됨을 알 수 있다. 이러한 현상은 석고가 시멘트 조성광물중 C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S와 같은 실리케이트계 화합물의 수화를 촉진하여 강도발현에 유효하게 작용한다는 연구보고(7)와 유사하며, 특히 석고와 실리카흙을 혼합 사용하므로써 고강도콘크리트의 압축강도 향상에 매우 효과가 있음을 나타내는 결과로 생각된다.

이번에는 실리카흙 혼합 고강도콘크리트의 압축강도와 인장강도와의 관계를 나타낸 것이 그림.10이다.

압축강도가 증가함에 따른 인장강도의 증가비율은 매우 적으며, 압축강도 800kg/cm<sup>2</sup> 정도의 고강도일때  $\sigma_t/\sigma_c=1/16$  정도로 보통콘크리트보다 작은 값을 나타내었다.

## 4. 결론

(1) 고성능감수제를 사용한 고강도콘크리트의 슬럼프 손실을 줄이기 위한 방법으로 실리카흙을 혼합하므로써 약간의 슬럼프 손실을 저감시키는 효과를 얻었다.

(2) 고강도콘크리트의 믹싱후 경과시간에 따른 온도상승을 억제하기 위하여 실리카흙의 혼합이 유효함을 알 수 있었다. 그러나

석고첨가에 따른 콘크리트의 온도가 얼마간 큰 문제점이 있었다.

(3) 실리카흙 혼합 고강도콘크리트의 압축 강도를 개선시키기 위하여 적정량의 석고를 첨가하므로써 재령 28일에서의 압축강도가 약 3%정도 향상된 1,058kg/cm<sup>2</sup>의 고강도콘크리트를 얻었다.

## 참고문헌

1. 문한영, 김진철, 실리카흙을 혼합한 콘크리트의 고강도화에 관한 기초적 연구, 대한토목학회 논문집, 제 12권, 제 4호, 1992.12.
2. 문한영, 김기형, 고성능감수제를 사용한 콘크리트의 유동성 손실을 저감시키기 위한 연구, 대한토목학회 논문집, 제 12 권, 제 3 호, 1992.9
3. P. K. Mehta and O. E. Gjorv, Properties of Portland Cement Concrete Contraining Fly Ash and Condensed Silica-Fume, Cement and Reserach, Vol.12, pp.587-595, 1982.
4. V. Novokshchenov, Factors Controlling the Compressive Strength of Silica Fume Concrete in the Range 100-150 MPa, Magazine of Concrete Reserach, 44, No.158, 1992.Mar, 53-61.
5. 探谷泰文, "セメント・コンクリートの流動特性", セメント・コンクリート, No.541, Mar.1992.
6. 宮野一也 外 3名, 高強度コンクリートの強度および斷熱溫度上昇に及ぼす各種材料の影響, 콘크리트工學年次論文報告集, 12-1,

1990.

7. V.T. Yilmaz and F.P. Glasser, Early Hydration of Tricalcium, Aluminate-Gypsum Mixtures in The Presence of Sulphanated Melamine Formuldenayde Superplasticizer, Cement and Concrete Research, Vol.21, pp.765-776, 1991.

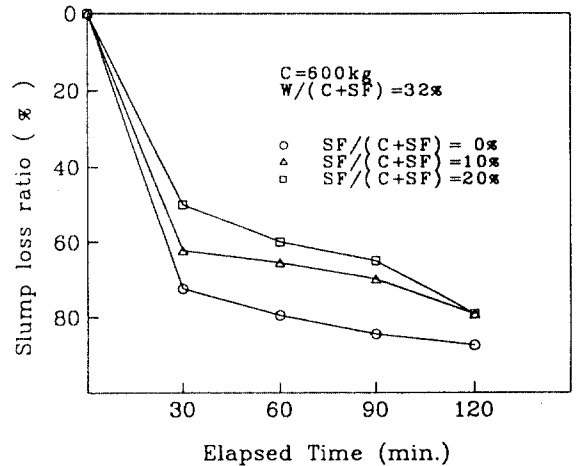


그림.1 실리카흙 혼합콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프 손실률

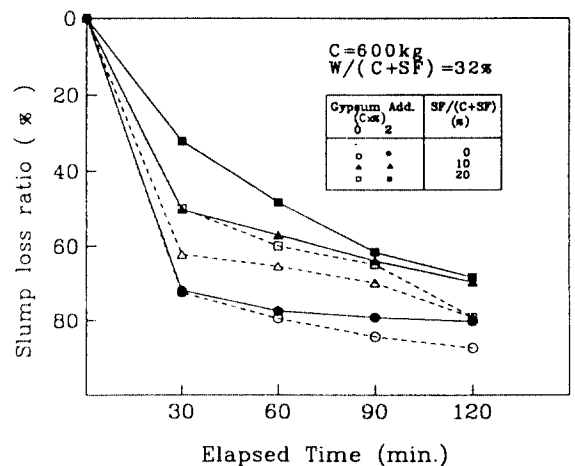


그림.2 석고첨가 실리카흙 혼합 콘크리트의 경과시간에 따른 슬럼프 손실률

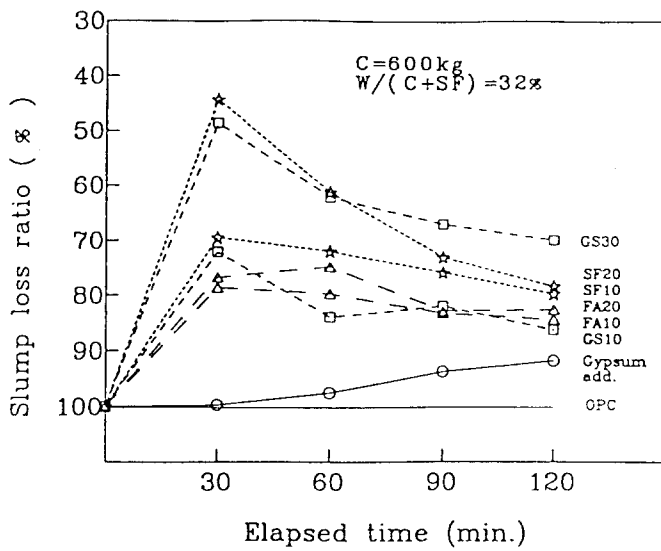


그림.3 혼화재 혼합 콘크리트의 슬럼프 손실률 비교

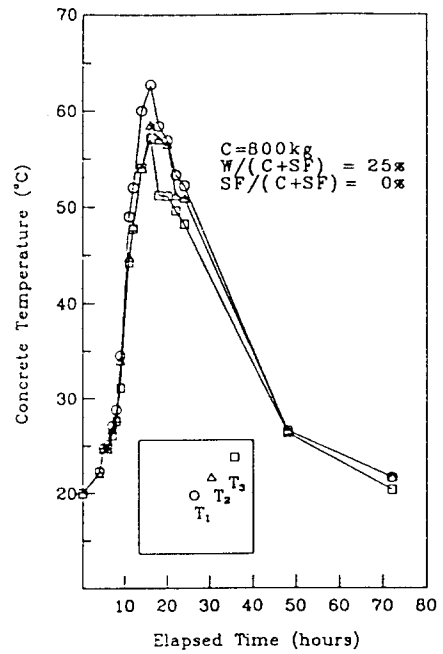


그림.4 경과시간에 따른 콘크리트의 온도 변화

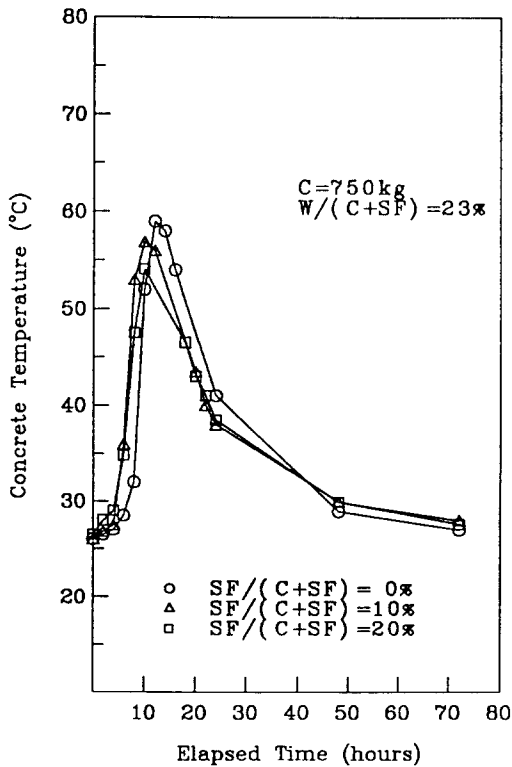


그림.5 경과시간에 따른 실리카흄 혼합 콘크리트의 온도변화

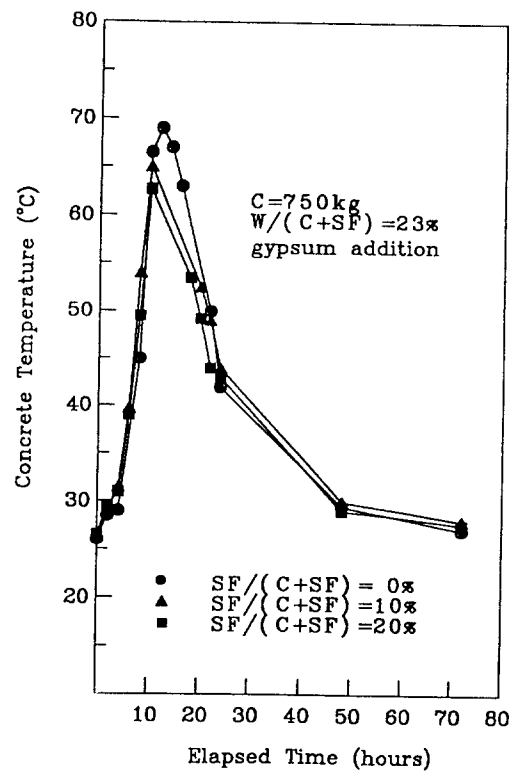


그림.6 경과시간에 따른 석고첨가 실리카흄 혼합 콘크리트의 온도변화

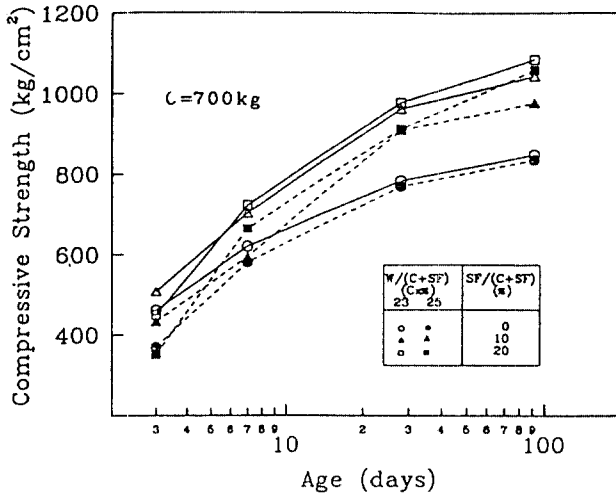


그림.7 재령에 따른 실리카흙 혼합 콘크리트의 압축강도

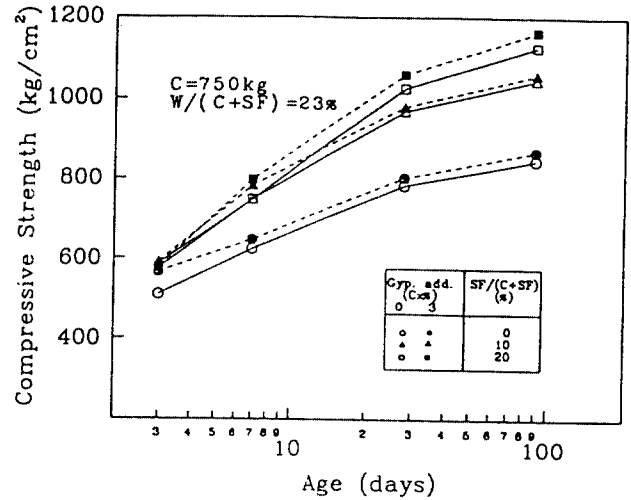


그림.8 재령에 따른 석고첨가 실리카흙 혼합 콘크리트의 압축강도

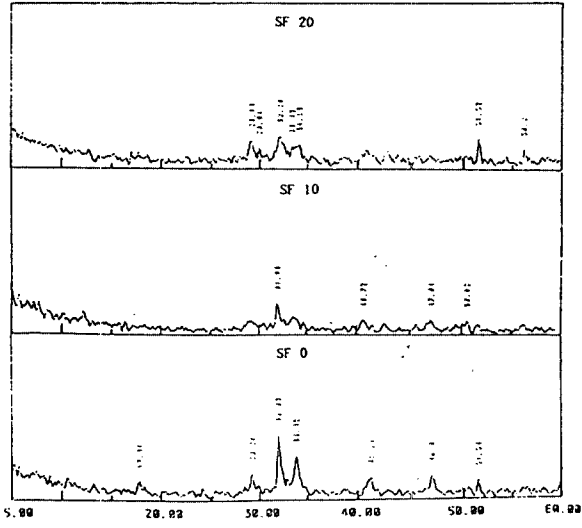


그림.9 시멘트 플 경화체의 X-Ray 회절도

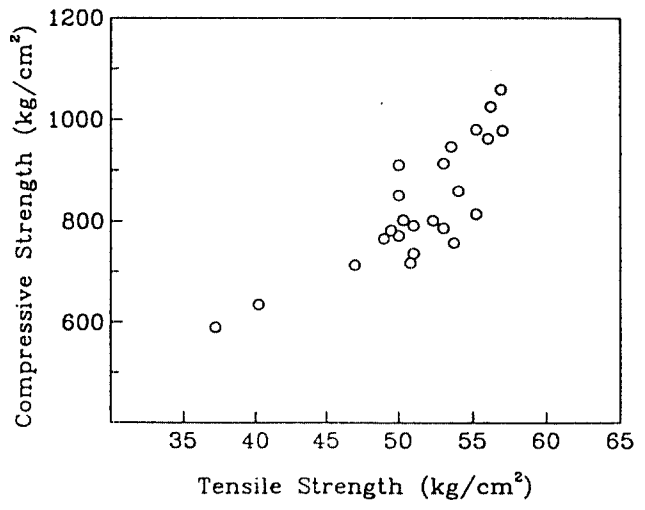


그림.10 실리카흙 혼합 콘크리트의 압축강도와 인장강도와의 관계